

실시간 시뮬레이터를 이용한 1MW 전력변환장치의 3상 불평형 비간섭 전류제어 검증

김원경, 박기우, 이지현, 고광수, 이윤재, 김희중
LS산전

Three-Phase Decoupled Current Control under Unbalanced Condition for 1MW Power Conditioning System

Wonkyung Kim, Kiwoo Park, Jiheon Lee, Kwangsoo Koh, Heejung Kim
LSIS

ABSTRACT

본 논문에서는 실시간 시뮬레이터를 이용하여 1MW PCS(Power Conditioning System)의 불평형 비간섭 전류제어(Unbalanced Current Control under Unbalanced Condition) 알고리즘을 검증하였다. 3상 불평형 발생 시, 기존의 전류제어는 전압의 불안정으로 인해 전류의 목표 값이 흔들리는 현상을 보인다. 하지만, 3상 불평형 비간섭 제어는 불평형 상황 전압과 전류를 정상과 역상 성분으로 나누고, 이를 독립적으로 제어함으로써 더욱 우수한 성능을 가진다. 본 논문은 1MW PCS의 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 환경을 구축하여 실시간 시뮬레이터에서 실제 출력되는 전류의 불평형을 확인하고, 이를 개선하는 것을 검증하였다.

1. 서론

부하 변동에 따라서 계통의 전압과 전류는 변화하게 된다. 이러한 부하 변동에 따른 계통을 안정적으로 유지하기 위해, 에너지 저장장치(Energy Storage System) 및 이를 이용한 전력변환장치(Power Conditioning System)이 각광을 받고 있다.

일반적인 3상 계통은 전압 및 전류의 작은 왜곡이나 불평형이 존재한다. 전원전압의 불평형 및 왜곡은 3상 PWM 정류기의 입력전류 불평형 및 왜곡을 발생 시킨다.^[1] 특히 단상부하를 사용하는 경우, 불평형의 상황은 더욱 심해진다. 평형상태에서 계통은 정상분의 성분만 가지고 있지만, 불평형의 상황에서는 역상분 또한 존재하게 된다. 이러한 상황에서 전력 변환 장치를 사용하는 경우, 전압의 불안정으로 인해 PLL(Phase Locked Loop)의 출력값에 맥동이 발생하고, 이를 이용하는 모든 동기좌표계의 수치에 영향을 미치며, 역상분의 제어가 이루어지지 않는다면, 불평형의 값은 심화되거나 계속 남아 있어 계통의 전력 품질을 저하시킨다. 불평형 발생 시 정상분 및 역상분을 분리하여 독립적으로 제어 함으로써 PCS의 품질을 향상시킬 수 있다.

HILS(Hardware In the Loop System) 방식은 실제 계통을 모의하여 제어기와 시뮬레이션 시스템 사이의 정보를 교환함으로써, 실제 계통에 바로 연결하여 사용해 보는 것 보다 안정적이고, 시스템의 해석을 용이하게 할 수 있다. 이러한 HILS 장비는 대용량 EES가 구축 시, 때, 계통상황 변화에 따른 PCS의 안정성 및 전체 시스템의 신뢰성 평가에 도움을 준다.

본 논문에서는 HILS RTDS (Real Time Digital

Simulator)를 사용하여, 1MW EES와 모의계통을 구성하고 불평형 비간섭 제어기능을 구현하였다. RTDS에서 구현한 모의 계통과 EES System을 ST사의 STM32시리즈 MCU 기반의 제어보드를 이용하여 정상분 및 역상분을 분리하여 제어하였다.

2. 인버터 제어방식

2.1 기존방식

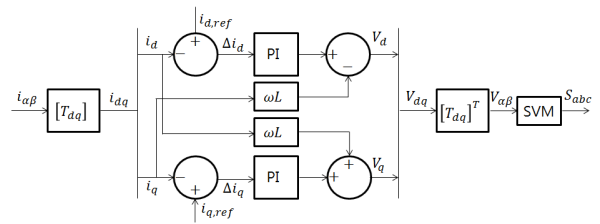


그림 1 기존 인버터 제어방식

Fig. 1 A Conventional inverter Control Algorithm

기존의 인버터 제어방식은 그림1과 같이 정좌표계에서 동기좌표계로 변환하여 직류값인 d축과, q축 전류로 분리하여 제어하는 방식을 사용하였다. 이런 방식은 3상 평형 상태에서 적절한 방식으로, 불평형 발생시 맥동전압 및 전류 발생으로 출력에 고조파 및 불평형 전류를 내보내게 된다.

2.2 불평형 비간섭 전류제어 방식

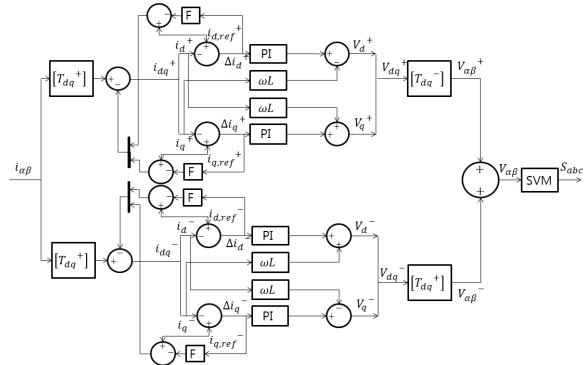


그림 2 제안된 불평형 비간섭 인버터 제어방식

Fig. 2 A proposed inverter Control Algorithm

그림 2는 본 논문에서 사용한 불평형 비간섭 전류제어 방식이다. 이 방식은 입력된 전류를 정상분과 역상분으로 나누고, 정상분은 기존의 목표값의 정상분을 적용하고, 역상분은 억제하는 방식으로 출력되는 전류를 내보낸다.^[2] 이러한 불평형 비간섭 제어는 출력 전류의 목표값이 흔들리지 않고, 불평형 상황에서도 출력을 균일하게 보낸다.

3. 실시간 모의 시뮬레이션

3.1 HILS 시뮬레이션 환경

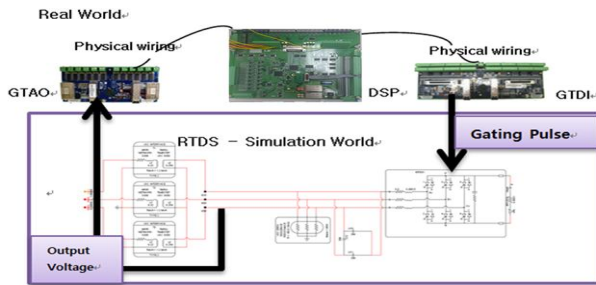


그림 3 HILS(RTDS)를 이용한 모의계통 및 PCS 구성도
Fig. 3 Configuration of desired power system and PCS using HILS(RTDS)

그림3은 HILS환경을 나타낸 것이다. HILS장비중 RTDS를 이용하였고, RTDS의 프로그램인 RSCAD를 이용하여 계통 및 EES를 구성하였다. ST 제어보드에서 입력은 RSCAD에서 출력되는 값을 GTAO(Giga Transceiver Analog Output)을 통해서 입력되고, 제어보드의 PWM 출력은 GTDI(Giga Transceiver Digital Input)를 이용하여 RTDS에 입력해 준다. 표1은 RSCAD의 프로그램을 구성하기 위한 계통정보 및 EES의 입력값, 제어방식을 나타낸 것이다.

표 1 1MW PCS 및 시뮬레이션 설계사양
Table 1 1MW PCS and HILS specification

구분	사양
입력전압	700~1000V
입력전류	1429A
계통전압(정격)	380V
계통전류(정격)	1519A
계통주파수	60Hz
제어방식	SVPWM

3.2 시뮬레이션 결과

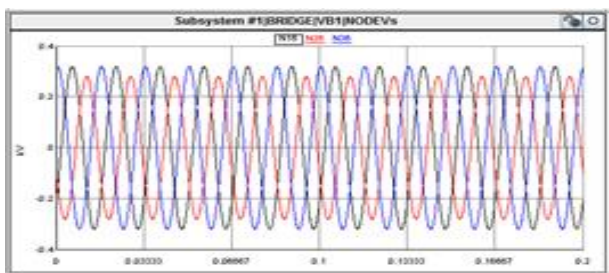


그림 4 모의계통의 전압 그래프
Fig. 4 A Voltage Graph of Simulation system

그림 4는 계통의 인가되는 전압을 나타낸다. 3상 계통의 전압 중 1개의 상이 10% 하강된 값이다. 위의 상황이 발생시 PCS의 전류출력은 왜곡성분이 나타나게 된다.

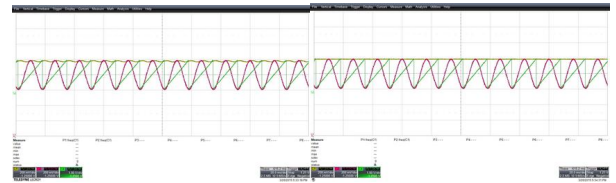


그림 5 (a), (b) 위상추종 각도, 계통 전압, 동기좌표계 변환값((a), 기존 방식, (b) 불평형 비간섭 전류제어 방식)

Fig. 5, (a), (b) Grid Phase, Voltage, Converted Value of Synchronous Reference Frame ((a) Conventional Method, (b) Unbalanced Decoupled current control method)

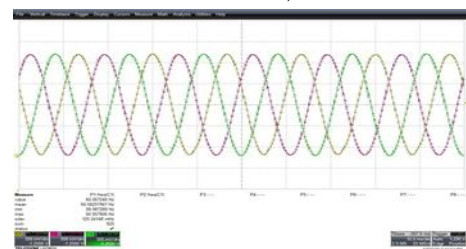


그림 6 PCS 계통 전류 출력 파형
Fig. 6 An AC current waveform of PCS

그림 5, 6은 기존의 제어방식 및 제안된 불평형 비간섭 전류제어의 성능을 비교한 그래프이다. 기존 제어방식에서는 PLL값과 그에 따른 동기좌표계로 변환한 값이 흔들리기 때문에, 균일한 전류를 보상하기 힘들다. 하지만 제안된 방식에서는 변환한 값이 일정하게 유지된다. 이를 바탕으로 그림7에서 PCS에서 출력되는 전류를 확인하면, 출력된 전류 파형이 균일하게 출력되는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 HILS를 이용하여 3상 불균형 상황에서 1MW PCS의 출력 전류를 불평형 비간섭 전류제어를 통해 균일하게 출력되는 것을 확인 하였다. 향후 불평형 비간섭 전류제어를 활용하여 1MW PCS를 제작 후 PCS의 고조파 분석, 병렬운전에 따른 공진분석을 모의계통으로 진행하여 주파수 조정용 PCS의 전력 품질 향상이 예상된다.

이 논문은 KPX의 주파수 조정용 4MW PCS 개발의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 신희근, 김학원, 조관열, 임병국 “전원전압의 불평형 및 왜곡 보상기능을 갖는 3상 PWM 정류기의 전류제어기”, 전력전자학회논문지 16권 6호, pp 594 601, 2011, December.
- [2] R.Teodorescu, M.Liserre, P.Rodriguez, “Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power System” John Wiley & Sons. pp. 237 262, 2011.